文科系のための入門講座

「実用音響学」初歩の初歩

加銅鉄平 Kadou Teppei

No. 4　室内の吸音と反射

部屋の中に放出された音はどんな振る舞いをするか，という話です．音波は光と似ていて，反射したり透過したりするのです．

1) 基本的には直進する（ついでに音速の話も）

まあ，当然です．美人がいたら進路を変えるなどということは原則としてしません．とはいうものの，進路をカーブさせることもあります．温度差のある空中を伝わる時です．

音波の空気中の速さは

音速＝331.5＋0.6 t〔m/s〕

t：空気の温度〔℃〕

で示されます．一般に言う音速340mは気温が約15℃のときの話です．もし，地上が太陽でポカポカ暖かかったりすると地表の音速は速くなって，結果として音は空中に舞い上がって，あまり遠くに届かないという現象になります．逆に地表が冷えているときはカーブして地表に下りてきて，遠くまで届くことになります．

2) 障害物に当たると反射する

ここからは**図1**を見てください．ぶつかって行き場がなくなると，しょうがないから別の方向に向きます．反射です．ここでは光と同じように「入射角と同じ角度で反射」します．ぶつかったときに吸収されることがなければ，進路を変えるだけです．

このとき，ぶつかったエネルギーが全部反射するときは，

反射率 $r=1$

といいます．

3) 突き抜けて透過する

透過する仕組みには二通りあります．布のカーテンのように小さな孔が貫通している場合は，音波はそこをくぐり抜けて向こう側に出ます．

もしカーテンがプラスチックの板だったりすると貫通孔はありませんから空気は通りません．この時は音波はその板をゆさぶるのです．ゆさぶられた板は振動しますから，何のことはない，スピーカーの振動板の代わりとして，反対側の空気に振動，すなわち音波を発生させます．結果として音波が透過したことになります．

このとき，当然ながら，重い板は振動し難いですから音は通り難い，透過し難い，防音がしっかりしているということになります．

少し余談ですが，透過する割合を透過率といい，記号は τ（タウ）を使います．そして透過率の小さいものは透過損失が大きいといいます．

透過損失（TL）＝10×log 1/τ〔dB〕

TL：トランスミッション・ロス

τ：透過率

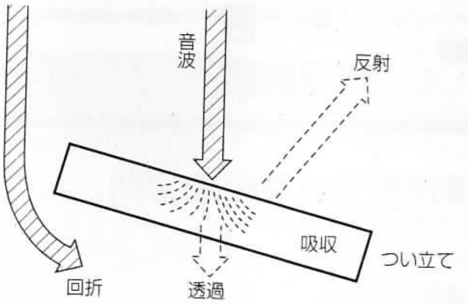
で表示しますから，この数字が大きい材料を使って防音工事を行います．10cmのコンクリートで約50dB(500Hz)です．

なお，透過率というのは音波が壁を通して滲み出る率ですから，これにその壁の面積を掛けると「透過量」すなわち，滲みこんで入ってくる音波の量ということになります．この数値は遮音度の計算のときに使います．

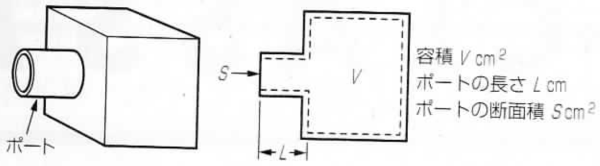
うっかりしやすいのは，10cmのコンクリートの部屋ならそのまま遮音度50dBかというと，そうではなく，後述の吸音力を含めて計算しなければいけません．

4) 回折する

つい立ての端に当たったときに，光のように直進性が強いと，つい立ての後ははっきりと陰になります．ところがつい立ての後でも話し声ならば結構よ



[図1]「音波の反射，吸収，透過，回折」



$f_0=\frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{VL'}}$〔Hz〕　ただし $L'=L+1.3r$

f_0：共鳴周波数(Hz)，C：音速(cm)，S：ポートの断面積(cm²)，V：箱の容積(cm³)，L：ポートの長さ(cm)，r：ポートの半径(cm)

[図2]「共鳴体」

く聴こえます．これは音波がつい立ての端を回り込んでくるからです．この現象を回折といいますが，波長の長い低音ほど顕著です．波長の短いトゥイーターの音は人の頭の後で聴いたりするとすっかり弱くなったりしますが，それは十分に回折しないからです．

5) 吸収される

音波はエネルギーですから，何かにぶつかるとそのものを動かしたり，熱を発生させたりします．昔，音波で殺人兵器を造れないかと研究して，やっと兎を１匹殺すことに成功したという話を聞いたことがあります．まあ，ジョークみたいなものです．

この音のエネルギーを吸収するということは，オーディオでは重要なことで，その仕組みには大変お世話になります．吸音材です．

吸音の仕組みは原理的に３種類あります．

(1) 多孔質吸音材

カーテン，絨毯，衣服などの布製品，グラスウールなどがこの仲間です．吸音の仕組みは，細い隙間に入り込んだ音波が右往左往してぶつかり合い，そこで熱に変化するというものです．

多孔質というと発泡スチロールの板も入るように思われますが，「孔が貫通している」という条件がついていて，発泡スチロールの板は多孔質吸音材には入れません．

(2) 板状吸音材

固い壁に密着していないベニア壁などが板状吸音材です．板ですから，音波が当たるとたわみます．板が強制的に曲げられると板の内部で，熱が発生しますが，その熱は音波のエネルギーによって発生したものですから，すなわち，吸音したことになります．このとき，板の曲がりの共振周波数では非常に能率よく吸収します．ですから，ぶつかる音波の周波数を変化させると，ある周波数で共振峰をつくる形の特性になります．

(3) 共鳴体吸音材

有名なヘルムホルツのレゾネーターです．**図2**からわかるようにバスレフの箱と同じ構造で，ある周波数で共鳴します．共鳴するとポートの部分で猛烈な空気の流入，流出が起こりますが，その時にそこで熱が発生して，すなわち吸音が行われます．この時の空気の動きの激しさはびっくりするほどで，周波数にもよりますが低音だとライターの火を簡単に消せます．吸音する周波数は一つです．

以上の吸音の仕組みは現実にはさまざまに変形して使用されますが，その吸音の程度を表す「吸音率」は同じ数値を使います．定義は，

吸音率 $(\alpha)=1-r$

α：吸音率

r：反射率

です．磨いた大理石の板などは r がほぼ１ですから吸音率はほぼゼロ．逆に開いている窓では，そこへ向かった音波は全部窓の外に逃げてしまって戻ってきませんから，すなわち $r=0$ で，吸音率 α は１となります．

この開放窓というのが吸音を考えるときの基準になっています．

ついでに「吸音力」の話もしておきます．これは吸音率に面積を掛けた値で，仮に $\alpha=0.3$，面積50 m² だと，吸音力は15m² ということになります．この吸音力の単位はセービン（建築音響に功績のあった米国の音響学者の名）といい，正しくは15メーターセービンと言います．しかし，最近はそれを忘れて，吸音力は15m² と言っています．同じ吸音率の壁で造った部屋でも，大きな部屋は当然吸音力が大きく，その分だけ音波の量を多くしないと同じ音量になりません．